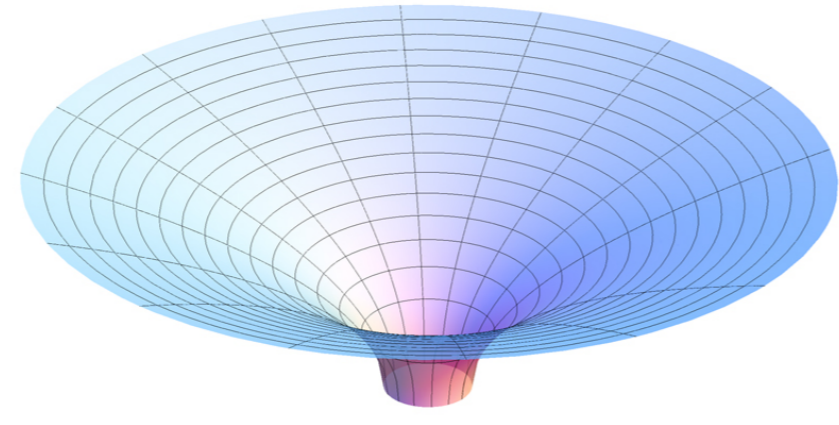




Die Rolle der Geometrie

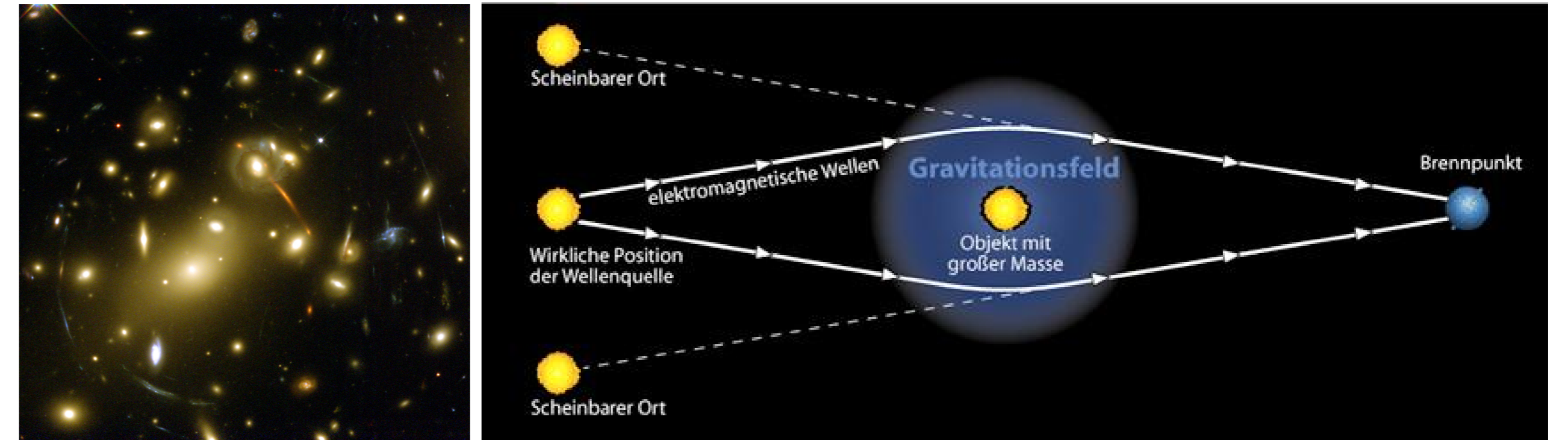
- Geometrie unseres Universums ist "nicht euklidisch", z.B.
 - Winkelsumme im Dreieck nicht genau 180° .
 - Verhältnis Kreisumfang zu Kreisdurchmesser ungleich π .
 - Abweichungen hängen vom Ort und Ausdehnung der Figuren ab.
- Geometrie ist dynamisch: Massen beeinflussen die Geometrie.
 - Der Abstand zwischen zwei Punkten ist eine veränderliche Eigenschaft des Raumes dazwischen.
- Keine Trennung von Raum und Zeit.
- Stattdessen vierdimensionale "Raumzeit".
 - Auch Zeitabstände folgen einer veränderten Geometrie.
 - Begriff der "Gegenwart" nicht mehr eindeutig, sondern abhängig von Ort und Geschwindigkeit.
 - Gravitationsfelder beeinflussen den Gang von Uhren.



Einfaches Beispiel für nicht euklidische Geometrie: Abstände auf gekrümmten Flächen.

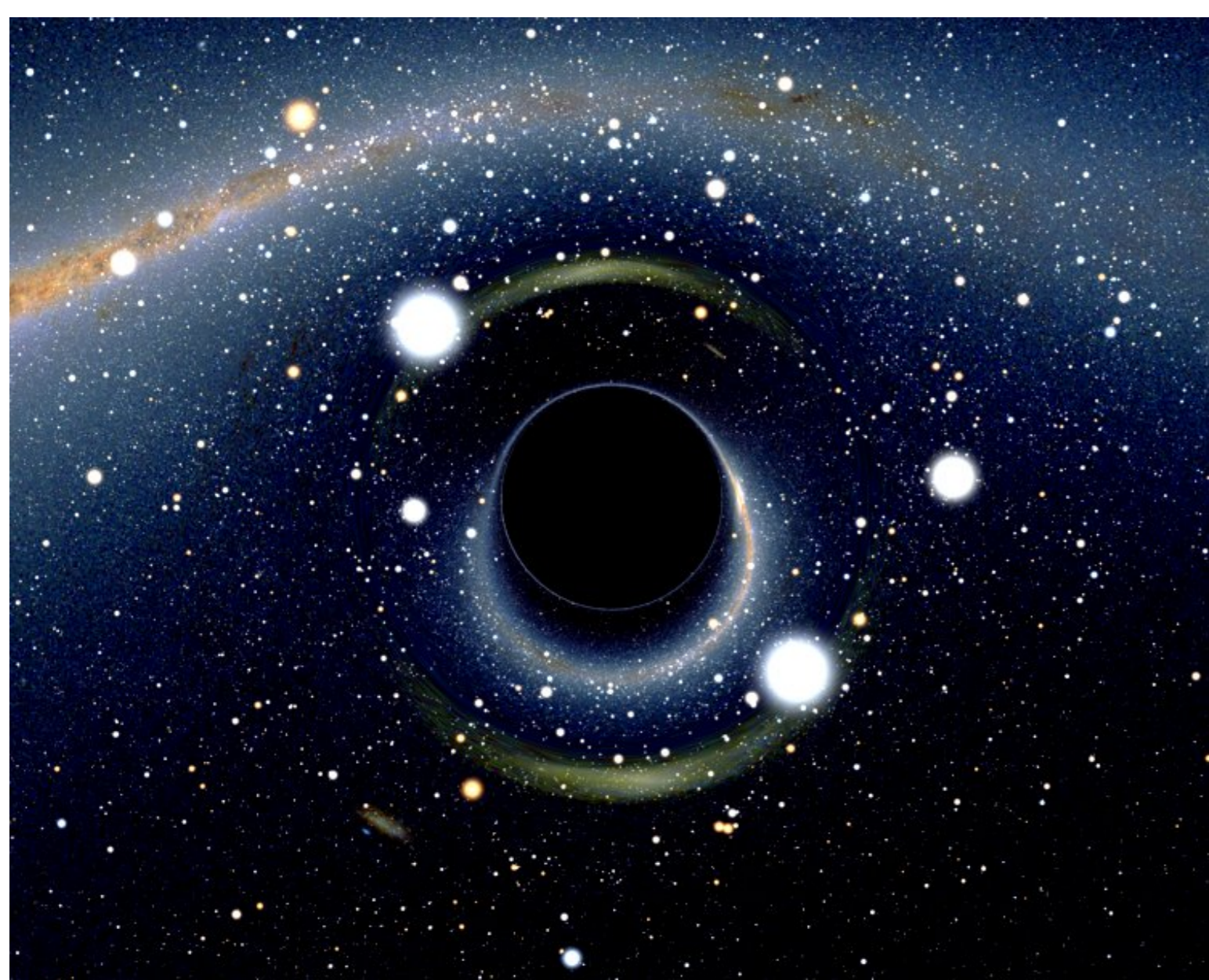
Relativistische Effekte

- Licht wird im Gravitationsfeld abgelenkt.
- Masse wirkt wie eine Linse, z.B. auf dieser Hubble-Aufnahme:



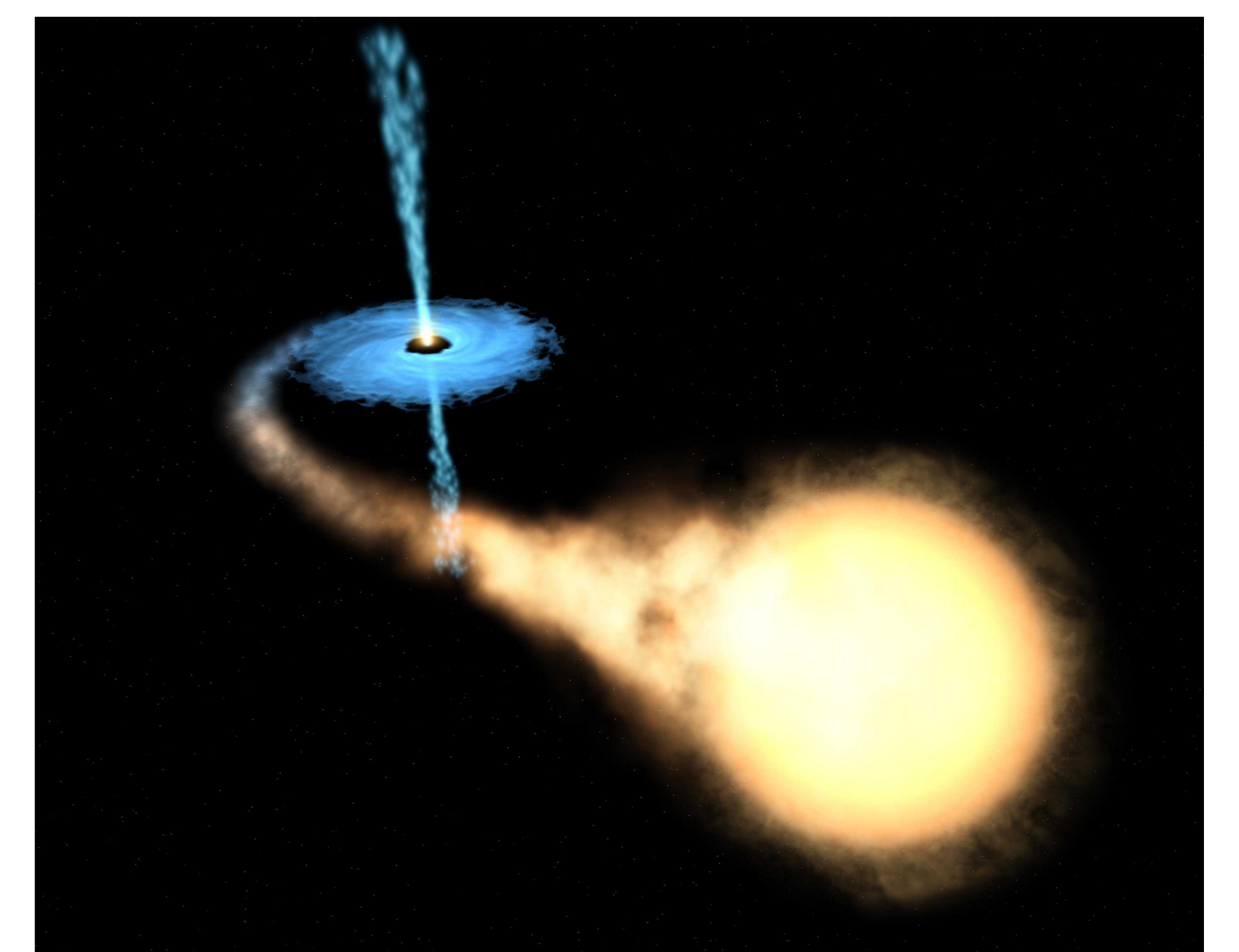
- Vorgänge in der Nähe großer Massen laufen von weiter weg betrachtet langsamer ab.
- Die Planeten bewegen sich nicht exakt auf Ellipsen.
- Der Abstand zweier sich umkreisender Massen nimmt mit der Zeit ab.
- Durch Massen verursachte Änderungen der Geometrie breiten sich mit Lichtgeschwindigkeit aus, als sogenannte Gravitationswellen.
- Existenz schwarzer Löcher.

Schwarze Löcher



So würde ein schwarzes Loch vor dem Hintergrund der Großen Magellanschen Wolke aussehen. Man sieht mehrere verzerrte Abbilder der Sterne dahinter. Die ringförmige Struktur ("Einstein-Ring") ist das Bild eines Sternes genau in Richtung des schwarzen Loches.

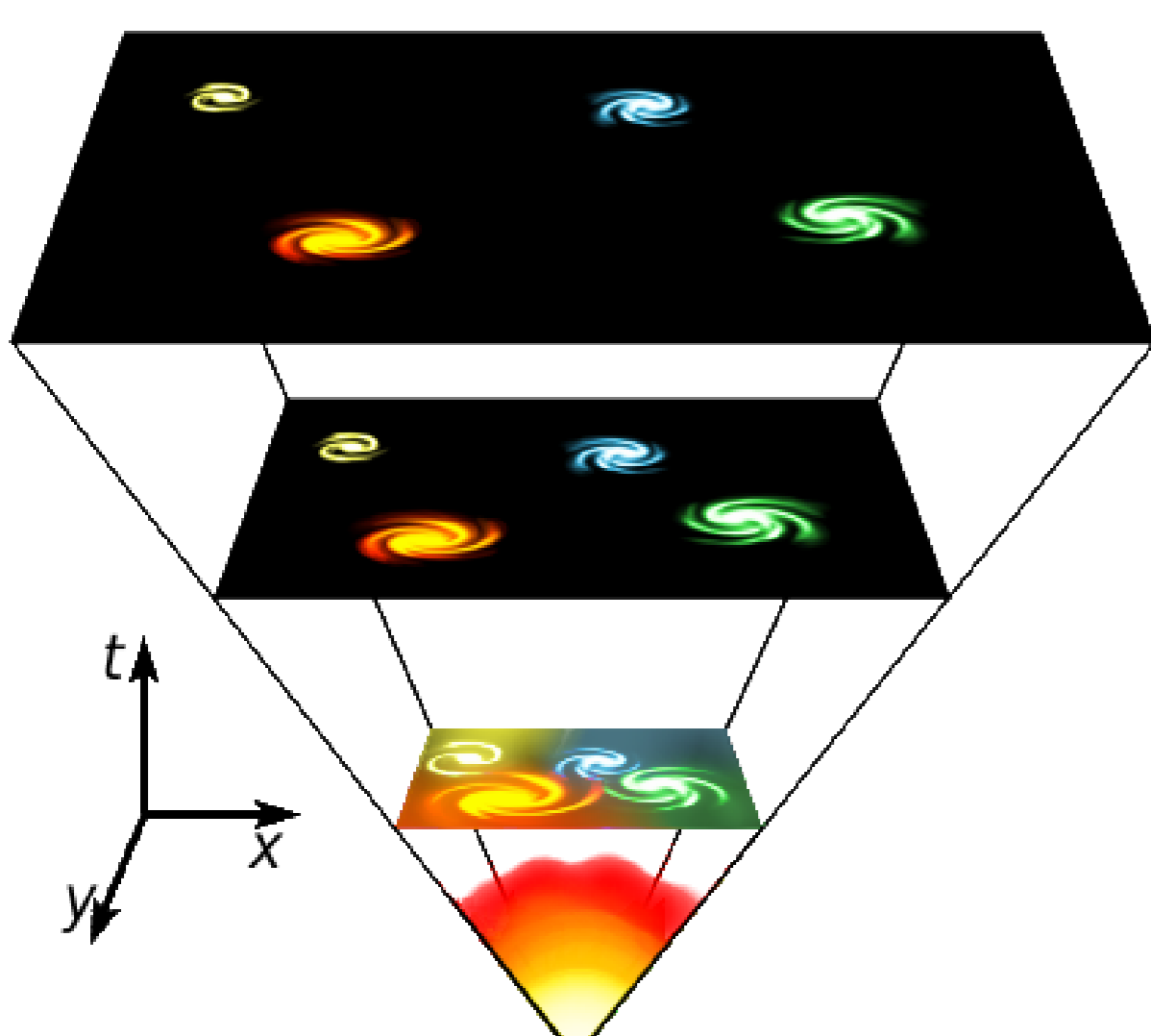
- Oberhalb einer bestimmten Dichte fallen Massen zwangsläufig in sich zusammen.
- Am Ende des Kollaps ist keine Materie mehr vorhanden.
- Stattdessen gibt es eine punktförmige Singularität.
- Gültigkeit der Relativitätstheorie in deren Nähe zweifelhaft.
- Die Singularität wird von einem Ereignishorizont umhüllt, aus dessen Inneren nichts entkommen kann, nicht einmal Licht.
- Beobachtung kann daher nur indirekt erfolgen.
 - Lichtablenkung durch die Gravitation.
 - Bahngeschwindigkeiten von umlaufenden Objekten.
 - Einfallende Materie heizt sich stark auf und leuchtet.
- Es wurden schwarze Löcher mit Massen von 3 Sonnenmassen bis hin zu 4 Millionen Sonnemassen nachgewiesen.
- Die Sonne hätte als schwarzes Loch einen Radius von ca. 3 km.



Diese künstlerische Darstellung zeigt, wie Materie von einem normalen Stern (unten rechts) in ein schwarzes Loch gesogen wird. Es bildet sich eine heiße Akkretionsscheibe, in deren Zentrum sich das im Vergleich zum Stern winzige schwarze Loch befindet. Außerdem wird ein Teil des Materials in Form eines hochenergetischen "Jets" wieder ins All geschleudert.

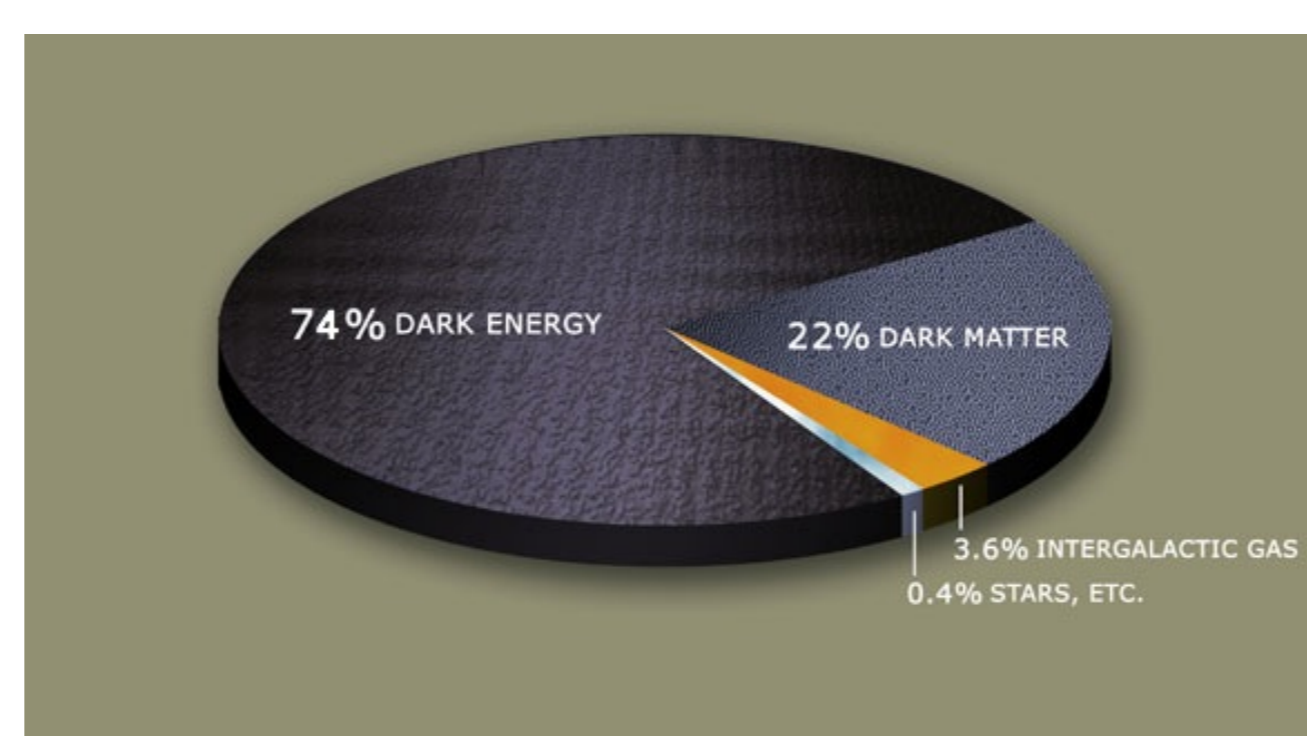
Kosmologische Konsequenzen

- Urknall
 - Unser heutiges Universum muß einmal extrem dicht und heiß gewesen sein, seitdem expandiert es.
 - Die Galaxien streben nicht im üblichen Sinne auseinander, sondern das Universum wird einfach immer geräumiger.
 - Es gibt kein "vor dem Urknall", ähnlich wie es kein "nördlich des Nordpols" gibt.

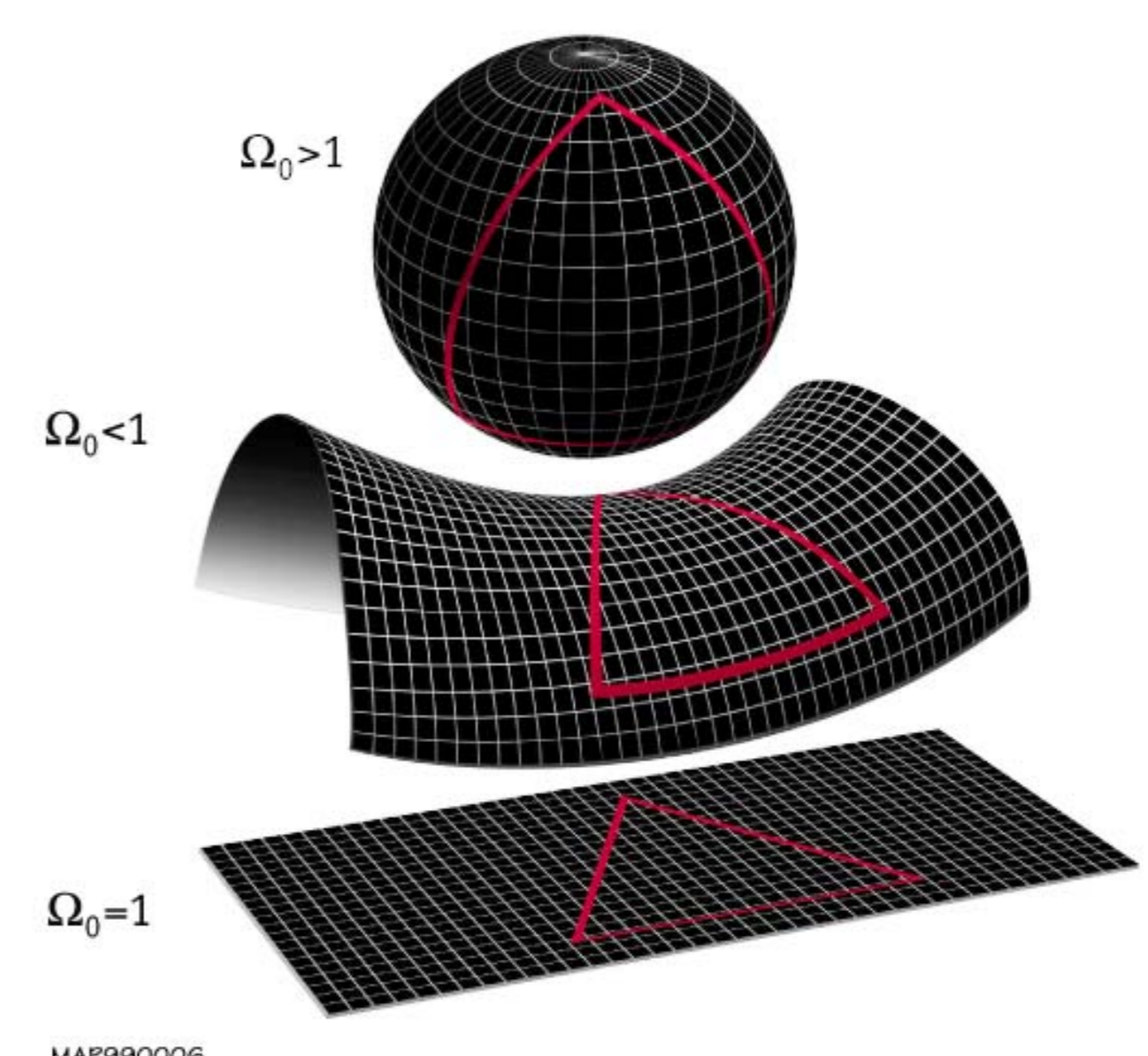


Entwicklung des Universums, von unten nach oben: Urknall, Entwicklung der Galaxien, andauernde Expansion. Gezeigt ist nur ein Ausschnitt eines unendlich großen im Durchschnitt homogenen Universums.

- Zukunft des Universums
 - Entweder dauernde Ausdehnung oder Kollaps.
 - Abhängig von Gesamtmasse und der "Kosmologischen Konstante".
 - Beides noch nicht ausreichend genau bekannt.
- Dunkle Materie und Energie
 - Umlaufperioden der Sterne innerhalb ihrer Galaxien nicht allein durch sichtbare Massen erklärbar.
 - Lichtablenkung durch Gravitation von Galaxien ebenfalls stärker als erwartet.
 - Folgerung: Den überwiegenden Teil der Materie im Universum können wir nicht sehen.
 - Verteilung der vom Urknall stammenden Mikrowellenstrahlung vorerst nur verständlich unter Annahme einer "dunklen Energie".



- Größe des Universums
 - Abhängig von der mittleren Dichte ist das Universum entweder unendlich oder endlich groß.
 - Ein endliches Universum hat analog zu einer Kugeloberfläche keinen Rand.
 - Anscheinend ist unser Universum unendlich ausgedehnt.



Einfache Analogien für die Geometrie des Raumes bei verschiedenen Massendichten Ω_0 . Von unten nach oben "flach", "offen", "geschlossen".